不同饲粮对泌乳奶牛乳脂前体物的摄取和利用的影响

宋利文　敖长金*　哈斯额尔敦　张　航　刘帅旺

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：本试验旨在研究不同饲粮条件下泌乳奶牛对乳脂前体物的摄取和利用规律。选取体重为（617±21） kg、泌乳天数为（120±20） d 的 9 头健康泌乳荷斯坦奶牛为试验动物，采用 3 重复 3×3 拉丁方设计，随机分为 3 组，其中 2 组饲粮的精饲料配方不同，粗饲料相同均为秸秆，精粗比均为 6:4（分别称之为 CSA 和 CSB 组），余下 1 组以羊草、苜蓿干草、全株玉米青贮为混合粗饲料，精粗比为 4:6（MF 组），每组 3 头；试验期 84 d，分为 3 期，每期 28 d，包括 21 d 的预试期及 7 d 的正试期。结果表明：1）各组产奶量及乳成分差异不显著（$P>0.05$），但 MF 组的泌乳效率显著高于 CSA 和 CSB 组（$P<0.05$）。2）各组饲粮 C16:0 和 C18:0 摄取量差异不显著（$P>0.05$）；MF 组饲粮 C18:1 *c*9 摄取量显著低于 CSA 和 CSB 组（$P<0.05$）。3）MF 组动脉血浆中长链脂肪酸和总脂肪酸含量均高于 CSA 和 CSB 组，特别是 C18:3 n3 含量显著高于 CSA 和 CSB 组（$P<0.05$）。4）MF 和 CSB 组乳腺 C18:3 n3 摄取量（日平均值）显著高于 CSA 组（$P<0.05$）；各组乳腺对其他长链脂肪酸的摄取量差异不显著（$P>0.05$）。5）最终体现在乳中，表现为 MF 组的 C18:3 n3 产量较 CSA 和 CSB 组有升高的趋势（$0.05 \leq P<0.10$），而原本乳腺摄取量无显著差异的 C18:2 n6（$P>0.05$），在乳中产量显著低于 CSA 和 CSB 组（$P<0.05$）。由此可见，相同粗饲料、不同精饲料饲粮对泌乳奶牛生产性能无显著影响，而优质的粗饲料即使在精饲料比例降低的前提下，对乳中脂肪酸的组成及产量仍可以产生影响，使其更倾向于有利人体健康。

关键词：泌乳奶牛；粗饲料；乳脂；脂肪酸；乳腺摄取

中图分类号：S823

乳脂是乳当中能量的重要组成部分，是乳制品提高人身体机能和维持感官特点的主要营养成分之一[1]。由于其巨大的经济及健康价值，越来越多的乳业生产者将目光转向提高乳脂率及改善乳脂组成上来。很多研究都已经证明了饲粮因素是影响乳脂含量及乳脂组成的最直

收稿日期：2017-01-22

基金项目：国家奶业 973 计划（2011CB100803）

作者简介：宋利文（1981-），男，内蒙古呼伦贝尔人，博士研究生，从事反刍动物营养与饲料研究。E-mail: tasrsfall@163.com

*通信作者：敖长金，教授，博士生导师，E-mail: changjinao@aliyun.com

接原因，但反刍动物是个例外，饲粮通过影响瘤胃中的微生物群落及细菌等的构成来影响最终能进入到血液中的乳脂合成前体物的组成[1]。刘峰[2]通过饲喂奶牛不同碳水化合物组成的饲粮改变了其瘤胃液乙酸/丙酸，从而影响乳脂率。粗饲料品质可以影响饲粮中的能量，乳蛋白含量随粗饲料品质提高而增加[3]。张福全等[4]研究泌乳奶牛在玉米秸秆为唯一粗饲料的全混合日粮（TMR）基础上，阴外动脉灌注氨基酸对长链脂肪酸含量无显著影响。而反刍动物乳脂中约 1/2 的 16 碳脂肪酸和大于 16 碳脂肪酸来源于血脂[5]。本研究以“饲粮类型-瘤胃微生物氢化作用-过瘤胃脂肪及血液中脂肪酸前体物”这一路径为切入点来考察奶牛的乳脂组成，旨在研究不同饲粮条件下泌乳奶牛乳脂前体物的摄取、利用规律。

1　材料与方法

1.1　试验设计及饲养管理

本试验选用 9 头经产 2~3 胎，健康无病的荷斯坦奶牛，体重（617±21） kg，泌乳天数为（120±20） d。试验采用 3 重复 3×3 拉丁方设计，9 头奶牛随机分为 3 组，其中 2 组饲粮精饲料不同，粗饲料均为玉米秸秆，精粗比均为 6:4，分别称之为 CSA 和 CSB 组，余下 1 组以羊草、苜蓿干草、玉米青贮为粗饲料，精粗比为 4:6（MF 组），每组 3 头。试验饲粮营养水平满足 NRC（2001），其组成及营养水平见表 1。试验期 84 d，分为 3 期，每期 28 d，包括 21 d 的预试期及 7 d 的正试期。

试验在内蒙古奶联科技有限公司兵州亥奶联社示范牧场开展，每头奶牛单独饲养，有独立的运动场，采用 TMR 形式饲喂，单独记录每头奶牛的采食量及剩料量，使用利拉伐便携式移动挤奶机挤奶。挤奶机、奶牛卧床及运动场定期打扫消毒。奶牛日饲喂 2 次（07:00 和 19:00），自由饮水，日挤奶 2 次（06:00 和 18:00）。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets （DM basis）　%

项目 Items	组别 Groups		
	CSA	CSB	MF
原料 Ingredients			
羊草 Chinese wildrye			3.7
玉米青贮 Corn silage			26.6
苜蓿干草 Alfalfa hay			28.3
玉米秸秆 Corn straw	37.1	37.0	
玉米 Corn	33.5	20.7	22.8
小麦麸 Wheat bran	3.0	4.4	

豆粕 Soybean meal	23.6	3.2	11.8
全棉籽 Whole cottonseed			5.1
棉籽粕 Cottonseed meal		2.5	
玉米麸质 Corn bran		9.5	
玉米粕 Corn meal		11.3	
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.4	0.6	0.6
石粉 Limestone	1.3	1.1	
干酒糟及其可溶物 DDGS		8.8	
食盐 NaCl	0.5	0.6	0.5
预混料 Premix[1)]	0.6	0.3	0.6
合计 Total	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]			
粗蛋白质 CP	16.47	15.60	15.80
酸性洗涤纤维 ADF	23.80	25.13	28.90
中性洗涤纤维 NDF	49.92	48.98	47.18
淀粉 Starch	19.90	15.87	15.07
泌乳净能 NE_L/(MJ/kg)	6.28	6.11	6.03

1) 每千克预混料含有 One kg of premix provided the followings：VA 2 285 000~2 857 000 IU，VD_3 457 000~1 142 000 IU，VE 11 400 mg，Cu(as copper sulfate)2 142~10 000 mg，Mn(as manganese sulfate) 15 428~42 857 mg，Zn(as zinc sulfate)15 428~42 857 mg，I(as potassium iodide)231~1428 mg，Se(as sodium selenite) 57~142 mg，Co(as cobalt sulfate) 28~571 mg。

2) 测定值 Measured value。

1.2 样品采集

试验期间每天准确记录产奶量。每个正试期第 1~3 天采集乳样，每头牛挤完奶后采集 300 g 左右乳样，一部分用于乳成分的测定，另一部分-20 ℃保存用于乳中脂肪酸含量的检测。

血液样品的采集分布在乳样采集完后的 2 d 内（正试期第 4~5 天）进行，采样的第 1 天采集奶牛空腹血 2 次，即在晨饲前及下午饲喂前用抗凝采血管分别采集尾根动脉及乳静脉血，制备血浆，-20 ℃保存；采样第 2 天采集奶牛晨饲后 2~3 h 的尾根动脉及乳静脉血，1 500 ×*g* 离心 10 min，制备血浆样品，-20 ℃保存。

1.3 检测指标及方法

1.3.1 泌乳奶牛乳腺血流量、乳成分前体物摄取率及乳腺摄取量等指标的的计算

以 C18:0+C18:1 *c*9 作为内源指示剂估算流经乳腺的血流量，参考 Annison 等[6]的方法，公式如下：

血流量=乳中 C18:0 和 C18:1 *c*9 含量/(动脉血浆中 C18:0 和 C18:1 *c*9 含量–静脉血浆中 C18:0 和 C18:1 *c*9 含量)；

乳成分前体物质的摄取率、乳腺摄取量、乳腺摄取平衡计算参见 Enjalbert 等[7]，公式如下：

摄取率（%）=[（动脉血浆中某前体物含量-静脉血浆中该前体物含量）/（动脉血浆中该前体物含量）]×100；

乳腺摄取量（mmol/L）=（动脉血浆中某前体物含量-静脉血浆中该前体物含量）×血流量；

乳腺摄取平衡（mmol/L）=乳中某前体物含量–乳腺摄取量。

1.3.2 乳成分测定

乳蛋白、乳脂、乳糖和乳中总固形物含量的测定选用 MilkoScanTM minor-Foss 乳成分分析仪（MilkoScan^{TM} minor-Foss,德国）。

1.3.3 血浆及乳中脂肪酸含量的测定

1.3.3.1 血浆样品准备

测定步骤如下：1)取 1 mL 血浆置于 10 mL 离心管中，加入 5 mL 正己烷-异丙醇混合液（*V*/*V*=3/2），漩涡振荡 2 min。2)取上层有机相（尽量取净）移至水解管中用氮气吹干，加入 0.5 mL 正己烷和 1 mL 无水甲醇。3)加入 3 mL 2%的氢氧化钠甲醇溶液（2 g 氢氧化钠溶于 100 mL 无水甲醇中），于 50 ℃水浴皂化 30 min。4)取出放置至室温后加入 3 mL 10%盐酸甲醇溶液，拧紧水解管盖，于 90 ℃水浴酯化 2 h。5)冷却至室温后加 3 mL 水和 5 mL 正己烷，振荡，静置分层。6)取上层液体（尽量取净），氮气吹至近干，用正己烷定容至 1 mL，振荡 30 秒，加入 0.5 g 左右无水硫酸钠以吸干水分，样品上机测定。(注：试验所选用液体试剂均选为色谱纯级别，所用到的水为超纯水。移液时尽量取净以保证测定结果的准确。)

1.3.3.2 乳样品准备

测定步骤如下：1)取乳样 2 mL 加入 4 mL 正己烷-异丙醇混合液（*V*/*V*=3/2），加入硫酸钠溶液（6.67 g 无水硫酸钠溶于 100 mL 水中）2 000×*g* 室温离心 20 min；2)吸取上层有机相于 20 mL 带盖水解管中，用氮气吹干；3)加入 2 mL 氢氧化钠甲醇溶液(配制方法同 1.3.3.1 血浆前处理)，于 50 ℃下水浴 15 min 冷却后加入盐酸甲醇溶液在 80 ℃下恒温水浴 90 min；4)冷却至室温后加入 3 mL 水和 6 mL 正己烷，振荡，静置分层；5)尽量吸净上层液体，用正

己烷定容至 10 mL（注：因乳中脂肪酸含量较高，所以定容至 10 mL 相当于稀释 5 倍），加入约 2 g 无水硫酸钠，取上清液可上机测定。进样量 1 μL。

1.3.3.3 血浆和乳样品色谱分析

气相色谱参考条件如下：气相色谱仪选用为岛津 GC-2014，色谱柱为 HP-88（100.00 m×0.25 mm，0.20 μm 孔径）；柱温设置为 120 ℃维持 10 min，之后以 3.2 ℃/min 的速率升温至 230 ℃，维持 35 min；进样口温度为 250 ℃；检测器温度为 300 ℃；恒压 190 kPa；分流比为 1:50，工作载气为高纯氮气，进样量为 1 μL。所选标样为 37 种脂肪酸的甲酯化标准品（Sigma）。

1.3.4 泌乳效率及标准乳泌乳效率计算公式

乳脂校正乳的产量（kg/d）=0.4M+15F;

常乳泌乳效率=产奶量/干物质采食量；

乳脂校正乳泌乳效率=乳脂校正乳的产量/干物质采食量。

式中:M 为产奶量（kg）；F 为乳脂率（kg）。

1.4 数据统计分析

试验数据采用 SAS 9.0 软件 MIXED 模块进行统计检验分析，产奶量、乳成分、乳中脂肪酸组成的数据按照 3×3 拉丁方试验统计方法。统计模型中包含试验牛的随机因素和试验期、试验处理的固定因素。变量的统计结果均以最小二乘平均值形式列表，显著水平为 P<0.05，采用 Turkey 氏法多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同饲粮对泌乳奶牛干物质采食量及乳成分的影响

由表 2 可知，各组奶牛的体况评分差异不显著（P>0.05）。与 CSA 和 CSB 组相比，MF 组的干物质采食量显著地降低了（P<0.05）。产奶量及乳脂校正乳产量 3 组之间差异不显著（P>0.05），但 MF 组常乳泌乳效率及乳脂校正乳泌乳效率较 CSA 和 CSB 组显著提高（P<0.05）。乳蛋白率、乳脂率、乳糖率、乳中总固形物含量及乳蛋白和乳脂产量均差异不显著（P>0.05）。

表 2 不同饲粮对泌乳奶牛干物质采食量及乳成分的影响

Table 2 Effects of different diets on DMI and milk composition of lactating dairy cows

项目	组别 Groups	SEM	P 值

Items	CSA	CSB	MF		*P*-value
体重 BW/kg	620.40	608.00	624.30	21.60	0.31
体况评分 BCS	2.83	2.78	2.83	0.08	0.49
干物质采食量 DMI/(kg/d)	15.45^{a}	15.14^{a}	13.99^{b}	0.43	<0.01
产奶量 Milk yield/(kg/d)	20.00	20.80	19.20	1.68	0.80
乳脂校正乳产量 FCM yield/(kg/d)	19.47	19.19	19.28	0.79	0.82
乳脂率 Milk fat percentage/%	3.74	3.78	3.87	0.19	0.88
乳蛋白率 Milk protein/%	3.43	3.48	3.39	0.11	0.83
乳糖率 Lactose percentage/%	4.56	4.60	4.57	0.05	0.86
乳中总固形物含量 Milk TS content/%	12.48	12.62	12.54	0.22	0.91
乳中体细胞数 Milk SCC/（$\times10^{3}$个/mL)	152.80	74.90	34.60	49.90	0.31
乳脂产量 Milk fat yield/(kg/d)	0.75	0.77	0.74	0.06	0.92
乳蛋白产量 Milk protein/(kg/d)	0.68	0.72	0.65	0.04	0.55
乳糖产量 Lactose yield/(kg/d)	0.91	0.96	0.88	0.08	0.76
乳总固形物产量 Milk TS yield/(kg/d)	2.49	2.61	2.41	0.18	0.73
常乳泌乳效率 Dairy efficiency of milk	1.30^{a}	1.32^{a}	1.46^{b}	0.06	<0.01
乳脂校正乳泌乳效率 Dairy efficiency of FCM	1.26^{a}	1.26^{a}	1.43^{b}	0.05	<0.01

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*＞0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*＞0.01). The same as below.

2.2 不同饲粮对泌乳奶牛乳腺血流量的影响

由表 3 可知，乳腺血流量及乳腺血流量与产奶量比在 3 组间无显著差异（*P*>0.05）。

表 3 不同饲粮对泌乳奶牛乳腺血流量的影响

Table 3 Effects of different diets on mammary blood flow of lactating dairy cows

项目 Items	组别 Groups CSA	CSB	MF	SEM	*P* 值 *P*-value
乳腺血流量 Mammary blood flow	203.53	320.76	202.08	69.49	0.39
乳腺血流量与产奶量比 Mammary plasma/milk yield	239.01	383.50	248.65	67.40	0.26

2.3 不同饲粮对泌乳奶牛乳腺乳脂前体物摄取利用的影响

2.3.1 饲粮脂肪酸组成与摄取量

由表 4 可知，3 组 C16:0 和 C18:0 在饲粮中的含量差异不显著（*P*<0.05），且奶牛对这 2 种脂肪酸的摄取量也无显著差异（*P*>0.05）。CSA 和 CSB 组饲粮 C18:1 *c*9 含量较 MF 组有升高的趋势（0.05≤*P*<0.10）。CSA 和 CSB 组饲粮 C18:1 *c*9 摄取量显著高于 MF 组（*P*<0.05）。

饲粮 C18:2 n6 含量和摄取量在 3 组间差异不显著（P>0.05）。MF 组饲粮 C18:3 n3 含量显著高于 CSA 和 CSB 组（P<0.05），且 MF 组饲粮 C18:3 n3 摄取量显著高于另外 2 组（P<0.05）。

表 4　饲粮脂肪酸组成及泌乳奶牛对饲粮脂肪酸的摄取量

Table 4　Dietary fatty acid composition and dietary fatty acid intake of lactating dairy cows

项目	组别 Groups			SEM	P 值
Items	CSA	CSB	MF		P-value
饲粮脂肪酸含量（以总脂肪酸中比例表示）Dietary fatty acid contents (expressed as percentage in total fatty acid)/%					
C16:0	19.62	18.42	21.38	1.1	0.27
C18:0	5.87	4.69	4.24	1.88	0.82
C18:1 *c*9	28.94	25.41	18.60	2.35	0.08
C18:2 n6	41.66	47.41	41.72	5.44	0.71
C18:3 n3	3.42^{b}	3.78^{b}	12.72^{a}	1.21	<0.01
饲粮脂肪酸摄取量 Dietary fatty acid intake/（g/d）					
C16:0	112.70	104.10	106.90	5.34	0.45
C18:0	34.19	24.96	21.19	9.94	0.22
C18:1 *c*9	167.25^{a}	140.67^{a}	92.62^{b}	6.62	<0.01
C18:2 n6	238.62	269.18	207.79	20.51	0.13
C18:3 n3	20.14^{b}	21.41^{b}	64.39^{a}	4.08	<0.01

2.3.2　动静脉血浆中长链脂肪酸含量

由表 5 可知，3 组奶牛动静脉血浆中脂肪酸的含量变化基本与饲粮脂肪酸组成及摄取量一致，MF 组中，动静脉血浆中 C18:3 n3 含量均显著高于 CSA 和 CSB 组（P<0.05）。

表 5　不同饲粮对泌乳奶牛动静脉血浆中脂肪酸含量影响

Table 5　Effects of different diets on fatty acids contents in arterial and venous plasma of lactating dairy cows

项目	组别 Groups			SEM	P 值
Items	CSA	CSB	MF		P-value
动脉血浆含量 Arterial plasma content/(mg/L)					
C16:0	136.07	138.05	154.76	6.31	0.09
C18:0	176.72	186.03	191.58	10.64	0.61
C18:1 *c*9	136.26	147.14	170.06	12.34	0.17
C18:2 n6	807.77	866.14	810.08	53.18	0.68
C18:3 n3	37.68^{b}	36.18^{b}	101.8^{a}	4.06	<0.01
C20:1	29.33	27.98	28.35	2.06	0.89
合计 Total	1 334.56	1 415.48	1 477.48	75.71	0.42
静脉血浆含量 Venous plasma content/(mg/L)					
C16:0	123.66	136.54	134.71	4.49	0.13
C18:0	151.71	168.83	160.17	17.29	0.43
C18:1 *c*9	117.34	168.30	144.08	13.19	0.051
C18:2 n6	818.51	853.96	786.82	57.39	0.70
C18:3 n3	29.87^{a}	32.94^{a}	99.14^{b}	4.39	<0.01

C20:1	29.88	27.08	28.70	2.08	0.66
合计 Total	1 270.97	1 387.65	1 353.61	78.37	0.59

2.3.3 乳腺对脂肪酸的摄取率及摄取量

由表 6 可知，与 CSA 和 CSB 组相比，MF 组总长链脂肪酸的摄取率略有升高，但差异不显著（P>0.05）。各组各长链脂肪酸在乳腺当中的摄取率差异不显著（P>0.05）。从乳腺摄取量来看，CSB 和 MF 组 C18:3 n3 的摄取量趋于显著地高于 CSA 组（0.05≤P<0.10）。

表 6 不同饲粮对泌乳奶牛乳腺对脂肪酸的摄取率及摄取量的影响

Table 6 Effects of different diets on mammary gland extraction rate and mammary uptake of lactating dairy cows

项目 Items	组别 Groups CSA	CSB	MF	SEM	*P* 值 *P*-value
乳腺摄取率 Mammary gland extraction rate/%					
C16:0	12.71	6.83	12.29	3.30	0.34
C18:0	16.59	10.56	16.02	4.09	0.50
C18:1 *c*9	14.15	3.82	13.36	4.60	0.22
C18:2 n6	2.73	1.91	2.89	0.41	0.16
C18:3 n3	2.01	2.69	3.28	1.26	0.79
总长链脂肪酸 TLCFA	7.74	4.84	8.19	1.74	0.17
乳腺摄取量 Mammary uptake/(g/L)					
C16:0	8.72	9.16	9.15	1.01	0.93
C18:0	-1.68	-0.82	-1.13	1.32	0.89
C18:1 *c*9	7.12	7.88	7.44	0.35	0.31
C18:2 n6	7.12	7.86	7.64	0.34	0.27
C18:3 n3	0.10	0.17	0.16	0.02	0.06
总长链脂肪酸 TLCFA	14.13	15.99	10.33	3.65	0.50

2.3.4 乳中脂肪酸组成及产量

由表 7 和表 8 可知，MF 组乳中大部分中短链脂肪酸（C6~C12）的含量及产量低于 CSA 和 CSB 组，其中 MF 组 C10:0 和 C12:0 含量及 C12:0 产量与 CSA 和 CSB 组差异显著（P<0.05）；MF 组乳中 C18:3 n3 含量及产量均显著高于 CSA 和 CSB 组（P<0.05），MF 组乳中 C18:2 *c*6 和多不饱和脂肪酸含量及产量都显著低于 CSA 和 CSB 组（P<0.05）。

表 7 不同饲粮对泌乳奶牛乳中脂肪酸组成的影响

Table 7 Effects of different diets on fatty acid composition of milk of lactating dairy cows %

项目 Items	组别 Groups CSA	CSB	MF	SEM	*P* 值 *P*-value
C4:0	2.56	2.24	2.61	0.24	0.48
C6:0	1.87	1.72	1.90	0.20	0.80
C8:0	1.39	1.31	1.26	0.10	0.63
C10:0	4.07[a]	3.70[a]	3.26[b]	0.17	<0.01

C11:0	0.30	0.30	0.27	0.05	0.90
C12:0	5.00^{a}	4.46^{b}	3.89^{c}	0.20	<0.01
C13:0	0.13	0.13	0.10	0.03	0.64
C14:0	14.13	13.39	11.48	0.82	0.09
C14:1	1.38	1.33	1.16	0.10	0.29
C15:0	1.39	1.39	1.33	0.07	0.76
C15:1	0.34	0.35	0.31	0.05	0.79
C16:0	33.89	33.48	35.74	1.18	0.37
C16:1	1.27	1.26	1.40	0.14	0.73
C17:0	0.61	0.61	0.66	0.02	0.11
C17:1	0.17	0.20	0.20	0.03	0.67
C18:0	10.10	10.20	9.87	0.43	0.89
C18:1 *t*9	1.96	1.99	1.70	0.20	0.54
C18:1 *c*9	19.37	20.08	19.74	0.67	0.77
C18:2 *t*6	0.16	0.19	0.34	0.11	0.47
C18:2 *c*6	2.71^{a}	2.36^{a}	1.40^{b}	0.20	<0.01
C18:3 n3	0.26^{b}	0.20^{b}	0.38^{a}	0.05	0.04
C22:2	0.30	0.23	0.18	0.04	0.15
大于 16 碳脂肪酸 >C16	32.47	34.83	35.22	1.81	0.52
小于 16 碳脂肪酸 ≤C16	32.26	30.31	27.55	1.32	0.09
饱和脂肪酸 SFA	75.23	72.99	72.47	1.66	0.50
非酯化脂肪酸 UFA	24.77	27.01	27.53	1.70	0.53
单不饱和脂肪酸 MUFA	20.95	23.48	24.97	1.72	0.28
多不饱和脂肪酸 PUFA	3.82^{a}	3.52^{a}	2.56^{b}	0.20	<0.01

表 8 不同饲粮对泌乳奶牛乳中脂肪酸产量的影响

Table 8 Effects of different diets on fatty acid yield of milk of lactating dairy cows g/L

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	CSA	CSB	MF		
C4:0	0.82	0.84	1.01	0.11	0.40
C6:0	0.68	0.64	0.74	0.09	0.74
C8:0	0.51	0.49	0.49	0.04	0.90
C10:0	1.52	1.39	1.26	0.09	0.12
C11:0	0.11	0.11	0.11	0.02	0.97
C12:0	1.87^{a}	1.68^{a}	1.51^{b}	0.10	0.05
C13:0	0.05	0.05	0.04	0.01	0.70
C14:0	5.29	5.05	4.44	0.36	0.25
C14:1	0.52	0.50	0.45	0.04	0.58
C15:0	0.52	0.52	0.51	0.03	0.97
C15:1	0.13	0.13	0.12	0.02	0.90
C16:0	12.69	12.69	13.82	0.70	0.43
C16:1	0.48	0.47	0.54	0.56	0.62
C17:0	0.23	0.23	0.25	0.01	0.16
C17:1	0.06	0.08	0.08	0.01	0.54
C18:0	3.76	3.83	3.81	0.19	0.96

C18:1 *t*9	0.74	0.74	0.66	0.08	0.72
C18:1 *c*9	5.77	6.79	7.63	0.67	0.17
C18:2 *t*6	0.06	0.07	0.13	0.04	0.44
C18:2 *c*6	1.01[a]	0.89[a]	0.55[b]	0.08	<0.01
C18:3 n3	0.10[b]	0.08[b]	0.15[a]	0.02	0.05
C22:2	0.11	0.08	0.07	0.02	0.24
大于 16 碳脂肪酸 >C16	12.12	13.11	13.62	0.69	0.32
小于 16 碳脂肪酸 ≤C16	12.03	11.40	10.68	0.67	0.38
饱和脂肪酸 SFA	28.10	27.56	28.04	1.24	0.94
非酯化脂肪酸 UFA	9.25	10.16	10.65	0.62	0.29
单不饱和脂肪酸 MUFA	7.83	8.84	9.66	0.64	0.16
多不饱和脂肪酸 PUFA	1.42[a]	1.33[a]	1.00[b]	0.08	<0.01

2.3.5 长链脂肪酸流向

饲粮中 CSA 和 CSB 组中的 C18:1 *c*9 含量显著高于 MF 组（*P*<0.05），C18:3 n3 含量显著低于 MF 组（*P*<0.05）（表 4）。将乳腺摄取量和乳中脂肪酸产量换算为日平均值，结果如表 9 所示，可知在乳腺中，MF 和 CSB 组 C18:3 n3 摄取量显著高于 CSA 组（*P*<0.05），3 组其他长链脂肪酸的摄取量无显著差异（*P*>0.05）。在乳中，MF 组的 C18:3 n3 产量较 CSA 和 CSB 组有升高的趋势（0.05≤*P*<0.10），MF 组乳中 C18:2 n6 产量显著低于 CSA 和 CSB 组（*P*<0.05）。

表 9 长链脂肪酸流向

Table 9 Current direction of LCFAs g/d

项目 Items	组别 Groups CSA	CSB	MF	SEM	*P* 值 *P*-value
乳腺摄取量 Mammary uptake					
C16:0	174.4	190.5	175.7	1.1	0.27
C18:0	-33.6	-17.06	-21.7	1.88	0.82
C18:1 *c*9	142.4	163.9	142.8	2.35	0.08
C18:2 n6	142.4	163.5	146.7	5.44	0.71
C18:3 n3	2.0[b]	3.5[a]	3.1[a]	1.21	<0.01
乳中脂肪酸产量 Fatty acid yield of milk					
C16:0	257.20	260.61	264.13	17.35	0.96
C18:0	74.43	78.38	73.23	3.76	0.61
C18:1 *c*9	111.66	138.57	146.60	14.36	0.22
C18:2 n6	20.25[a]	18.30[a]	10.64[b]	1.76	<0.01
C18:3 n3	1.97	1.55	2.83	0.39	0.08

3 讨 论

3.1 不同饲粮对泌乳奶牛干物质采食量及乳成分的影响

本试验结果表明，MF 组与 CSA 和 CSB 组相比其干物质采食量显著降低了，本试验中所选奶牛产奶量在 20 kg 左右，MF 组较低的产奶量及高粗饲料比例带来的饱腹感可能是造成干物质采食量降低的原因，另外也可能与 MF 组中添加全棉籽有很大关系，虽然大多数学者研究观察到饲粮中添加未经处理的大豆或者全棉籽时并未对干物质采食量产生影响，但 Coppock 等[8]报道了由于全棉籽极高的能量水平导致了奶牛摄取产奶净能（NE_L）的提高，所以饲粮中梯度增加全棉籽含量与干物质采食量存在着负线性关系。

虽然在产奶量及乳脂校正乳产量的表现上 3 组之间并无显著差异，但在常乳泌乳效率及乳脂校正乳泌乳效率上来看，MF 组显著高于 CSA 和 CSB 组。其他诸如乳蛋白率、乳脂率、乳糖率、乳中总固形物含量及乳蛋白和乳脂产量均未产生显著差异。在摄取饲粮的粗蛋白质及泌乳净能并无差异的情况下，不同品质的粗饲料对于乳腺生脂及生蛋白质能力无影响。

奶牛的泌乳性能是一个非常复杂且受多种因素影响的过程，Kadegowda 等[9]和 Bremmer 等[10]研究认为，外源补充充足的脂肪将提高乳腺外源转化脂肪酸的能力，从而提高乳脂率，并降低产奶量。这与本试验所得结果一致。很多研究指出，产奶量及干物质采食量是随着饲粮中精饲料的比例提高而提升的[11-16]。Lundquist 等[13]研究发现，精粗比在 40:60 提升到 60:40 时，产奶量有了显著的提高，但干物质采食量变化不大。康蓉[17]发现饲粮模式对奶牛的干物质采食量均无影响。Macleod 等[14]的研究也发现，当精粗比从 25:75 提高到 45:55，再提高到 65:35 时，初产奶牛的产奶量和干物质采食量是呈现线性关系升高的。而本试验中，MF 组奶牛的干物质采食量却显著下降，造成这种现象的原因可能为：1）MF 组饲粮中添加了全棉籽，全棉籽作为过瘤胃优质脂肪可能为奶牛提供了更高的产奶净能，进而导致干物质采食量下降。2）MF 组高粗饲料比例可能给奶牛带来的饱腹感导致采食量下降；在奶山羊的试验中，混合粗料组中的羊乳在乳蛋白率及乳脂率上都较玉米秸秆粗饲料组有了显著提高，这可能是由于 2 组饲粮精饲料水平一致，而混合粗饲料组饲粮中添加了苜蓿草粉及玉米青贮的缘故[18]。3）精饲料水平较低时，优质粗饲料组合可能提高动物的干物质采食量，进而提高产奶量、乳蛋白率及乳脂率，当升高饲粮营养水平后，这一效果得到消除。试验中奶牛表现出的干物质采食量下降可能是由于高粗饲料比导致的饱腹感，或者是奶牛择食性导

致。总体来说优质粗饲料组合提高反刍动物泌乳效率。

3.2　不同饲粮对泌乳奶牛乳腺血流量的影响

在研究产奶牛泌乳过程时，乳腺血流量的测定是乳腺对原料乳前体物的摄取利用的前提和基础[19]。按照血液的红细胞压积为 1/3 来算，本试验中并未达到乳腺血流量与产奶量比为 500 的结果，这与 Annison 等[20]的研究结果有偏差。血液当中的长链脂肪酸主要来自饲粮的转化，但由于瘤胃微生物的氢化作用等原因可能使得血液中脂肪酸的含量与组成变得很不稳定，是造成偏差的原因。阴外动脉作为主要为乳腺供血的主要动脉，研究其血液中脂肪酸的含量及组合变化对于研究奶牛乳腺对乳脂前体物的摄取利用具有十分重要的意义。乳腺作为泌乳的终端器官具有相当独立的特性。由本试验结果看出，不同饲粮对奶牛乳腺血流量的影响不显著。

3.3　不同饲粮对泌乳奶牛乳腺对乳脂前体物的摄取利用的影响

对于反刍动物来说，阴外动脉作为为乳腺供血的唯一通路，其血液中乳脂前体物的组成受饲粮调控较为直接。本试验中，不同饲粮对奶牛阴外动脉血浆中脂肪酸组成的影响不显著，但对泌乳奶牛乳腺内脂肪酸组成和产量会造成显著的影响。Shingfield 等[21]提出脂肪酸的转运效率或者血流量会引起脂肪酸供给量及乳腺对脂肪酸的摄取方面变化，造成乳脂改变。Yang 等[22]在试验中发现奶牛的乳腺血流量和血液脂肪酸含量会影响乳腺对脂肪酸的摄取。在一定范围内增加饲粮或血液中脂肪酸含量会增加乳腺对这种脂肪酸的摄取率，但太高又会降低其摄取率[23]。本研究表明，MF 组饲粮 C18:3 n3 含量及摄取量都显著高于 CSA 和 CSB 组，而 CSA 和 CSB 组饲粮 C18:1 *c*9 含量又显著高于 MF 组。通过对血浆的检测得出，血液进入乳腺前，血液中所含有的脂肪酸基本与饲粮中的脂肪酸组成一致，这说明饲粮营养成分直接影响乳腺对乳脂前体物的摄取与利用。从本试验结果看出，不同组之间，乳中中短链脂肪酸的含量及产量几乎没有差异。近年来，人们已经更多地将研究方向转变到中短链饱和脂肪酸对健康的影响上来，如，现在已知几种 10 碳以下的脂肪酸对于调节基因功能、抵抗病毒活性以及在预防癌症和减缓肿瘤生长速度上起着积极的作用。不同组间，差异往往出现在乳腺对长链及不饱和脂肪酸的摄取上。上文已经提及，乳腺作为相对独立的泌乳反应终端器官，其并不是简单的在泌乳中单一反映饲粮中脂肪酸组成，在复杂的基因网络调控下，乳中所含脂肪酸受基因、瘤胃、激素水平等因素影响很大。优质粗饲料组合可能在调节乳脂率及

乳脂中脂肪酸组成上起到更好的作用，例，有研究表明，饮食中单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸的比例越高，对粥样动脉硬化及心血管疾病的保护较饮食中富含多不饱和脂肪酸更好[24-25]。本试验中，MF 组乳中的脂肪酸组成也印证了这一说法。随着科学的发展，对于乳脂的研究已不能固守在以前单一追求某种脂肪酸的提高上来，而更应该追求优化调节乳脂组成，通过饲粮调控—瘤胃发酵—肠道吸收—肝脏转化—血液调节这一通路上，使得反刍动物的乳脂组成朝着更有利人体健康的方向发展。不同饲粮对阴外动脉血液中脂肪酸组成无显著影响，阴外动脉作为乳腺供血的唯一通路，其血液中乳脂前体物的组成受饲粮调控较为直接。

4 结 论

① 不同精粗比，相似营养水平条件下泌乳奶牛饲喂玉米秸秆唯一粗饲料饲粮与优质混合粗饲料饲粮相比，乳蛋白率和乳脂率及乳蛋白和乳脂产量无显著差异。

② 不同饲粮对泌乳奶牛产奶量及乳腺血流量无影响。

③ 流经乳腺的乳脂前体物组成与饲粮中组成一致，原有差异在乳腺血浆中被缩小。优质粗饲料组合饲粮通过提高乳腺对部分乳脂前提物的摄取，促进了乳脂的合成。

参考文献：

[1] BAUMAN D E,GRIINARI J M.Nutritional regulation of milk fat synthesis[J].Annual Review of Nutrition,2003,23(1):203–227.

[2] 刘峰.不同品质粗饲料(GI)与精料给量对奶牛生产性能及营养物质消化代谢影响的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.

[3] 林志鹏,杨广林,林广宇,等.饲喂不同比例全株玉米青贮对泌乳奶牛产奶量及乳成分的影响[J].现代畜牧兽医,2016(11):5–11.

[4] 张福全,敖长金,哈斯额尔顿,等.阴外动脉灌注氨基酸对泌乳奶牛乳中主要脂肪酸组成的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(3):529–535.

[5] KALACP,SAMKOVÁ E.The effects of feeding various forages on fatty acid composition of bovine milk fat:a review[J].Czech Journal of Animal Science,2010,55(12):521–537.

[6] ANNISON E F,LINZELL J L,FAZAKERLEY S,et al.The oxidation and utilization of

palmitate,stearate,oleate and acetate by the mammary gland of the fed goat in relation to their overall metabolism,and the role of plasma phospholipids and neutral lipids in milk-fat synthesis[J].Biochemical Journal,1967,102(3):637–647.

[7] ENJALBERT F,NICOT M C,BAYOURTHE C,et al.Duodenal infusions of palmitic,stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows[J].The Journal of Nutrition,1998,128(9):1525–1532.

[8] COPPOCK C E,LANHAM J K,HORNER J L.A review of the nutritive value and utilization of whole cottonseed,cottonseed meal and associated by-products by dairy cattle[J].Animal Feed Science andTechnology,1987,18(2):89–129.

[9] KADEGOWDA A K G,PIPEROVA L S,ERDMAN R A.Principal component and multivariate analysis of milk long-chain fatty acid composition during diet-induced milk fat depression[J].Journal of Dairy Science,2008,91(2):749–759.

[10] BREMMER D R,RUPPERT L D,CLARK J H,et al.Effects of chain length and unsaturation of fatty acid mixtures infused into the abomasum of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1998,81(1):176–188.

[11] HANSEN W P,OTTERBY D E,LINN J G,et al.Influence of forage type,ratio of forage to concentrate,and methionine hydroxy analog on performance of dairy cows[J].Journey of Dairy Science,1991,74(4):1361–1369.

[12] KAWAS J R,JORGENSCA N A,JARDIE A R,et al.Cbange in feeding value of alfalfa with stage of maturity and concentrate level[J].Journey of Dairy Science,1983,66(Suppl.1):181.

[13] LUNDQUIST R G,LINN J G,OLTABY D E.Influence of dietary energy and protein on yield and composition of milk from cows fed methionine hydroxy analog[J].Journal of Dairy Science,1983,66(3):475–491.

[14] MACLEOD G K,GRIEVE D G,MCMILLAN I,et al.Effect of varying protein and energy densities in complete rations fed to cows in first lactation[J].Journey of Dairy Science,1984,67(7):1421–1429.

[15] ZIMMERMAN C A,RAKES A H,JAQUETTE R D,et al.Effects of protein level and forage source on milk production and composition in early lactation dairy cows[J].Journey of Dairy Science,1991,74(3):980–990.

[16] WALDO D R.Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions[J].Journey of Dairy Science,1986,69(2):617–631.

[17] 康蓉.不同日粮模式对泌乳中期奶牛生产性能、血液生化指标及泌乳相关激素的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.

[18] 宋利文.粗饲料品质对泌乳奶山羊及奶牛乳腺摄取利用脂肪酸的影响及机制[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.

[19] 张鑫,丁洛阳,王梦芝,等.奶牛乳腺血流量主要测定技术及其应用[J].动物营养学报,2015,27(6):1665–1671.

[20] ANNISON E F,BRYDEN W L.Perspectives on ruminant nutrition and metabolism I.metabolism in the rumen[J].Nutrition Research Reviews,1998,11(2):173–198.

[21] SHINGFIELD K J,SALO-VÄÄNÄNEN P,PAHKALA E,et al.Effect of forage conservation method,concentrate level and propylene glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows' milk[J].Journal of Dairy Research,2005,72(3):349–361.

[22] YANG G,BU D P,WANG J Q,et al.Duodenal infusion of α-linolenic acid affects fatty acid metabolism in the mammary gland of lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2012,95(10):5821–5830.

[23] 刘帅旺.不同日粮模式下泌乳奶牛乳腺对脂肪酸的摄取和利用规律[D].博士学位论文.呼

和浩特:内蒙古农业大学,2014.

[24] DE LORGERIL M,RENAUD S,SALEN P,et al.Mediterranean alpha-linolenic acid-rich diet in secondary prevention of coronary heart disease[J].The Lancet,1994,343(8911):1454–1459.

[25] NICOLOSI R J,WOOLFREY B,WILSON T A,et al.Decreased aortic early atherosclerosis and associated risk factors in hypercholesterolemic hamsters fed a high-or mid-oleic acid oil compared to a high-linoleic acid oil[J].The Journal of Nutritional Biochemistry,2004,15(9):540–547.

Effects of Different Diets on Uptake and Utilization of Milk Fat Precursor of Lactating Dairy Cows[2]

SONG Liwen AO Changjin* Haaserdene ZHANG Hang LIU Shuaiwang

(*College of Animal Science and Technology, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot* 010018, *China*)

Abstract: The objective of this study was to determine uptake and utilization of milk fat precursor of lactating dairy cows under different diets conditions. Nine healthy Holstein cows with body weight of (617±21) kg, lactation days of (120±20) d were selected as experimental animals. Cows were divided into 3 groups with 3 cows per groups using a 3 repeated 3×3 Latin square design, two groups was designed with different concentrates, but the same roughage of corn straw, and the concentrate to roughage ratio was 6:4 (named CSA and CSB groups, respectively); the rest group used Chinese wildrye, alfalfa hay and corn silage as mixing roughage (MF group), and the concentrate to roughage ratio was 4:6. The experiment lasted for 84 d consisting of 3 periods with 28 d per period, and each period consisted of 21 d for pretest and 7 d for test. The results showed as follows: 1) no significant differences in milk yield and milk composition were observed among groups (P>0.05), MF group had significantly higher dairy efficiency compared with CSA and CSB groups (P<0.05). 2) dietary C16:0 and C18:0 intakes were not significantly different among

*Corresponding author, professor, E-mail: changjinao@aliyun.com (责任编辑　王智航)

groups ($P>0.05$); dietary C18:1 *c*9 intake in MF group was significantly lower than that in CSA and CSB groups ($P<0.05$). 3) The intake of long chain fatty acids and total fatty acids contents in arterial and venous plasma in MF group were higher than those in CSA and CSB groups, especially C18:3 n3 content was significantly higher than that in CSA and CSB group ($P<0.05$). 4) C18:3 n3 intake of mammary gland (daily mean) in MF and CSB groups were significantly higher than that in CSA group; intakes of the other long chain fatty acids of mammary gland were not significantly different among groups ($P>0.05$). 5) Ultimately reflected in milk, C18:3 n3 yield in MF group tended to be higher than that in CSA and CSB groups （$0.05\leq P<0.10$）, and C18:2 n6 yield in MF group was significantly lower than that in CSA and CSB group ($P<0.05$), mammary gland intake of which was formerly had no significant difference ($P>0.05$). In conclusion, diet with different roughages and same concentrate has no significant effects on performance of lactating dairy cows, while even under the condition of decreased concentrate proportion, high quality roughages can affects milk fatty acid composition and yield, and adjusts it to be better for human health.

Key words: lactating dairy cow; roughage; milk fat; fatty acid; mammary gland uptake